



**Prof. Dr. Göran Kauermann**

Telefon +49 (0)89 2180-6253

goeran.kauermann@lmu.de

Institut für Statistik
Ludwigstr. 33
80539 München

**Prof. Dr. Helmut Küchenhoff**

Telefon +49 (0)89 2180-2789

kuechenhoff@stat.uni-muenchen.de

Institut für Statistik
Akademiestr. 1/IV
80799 München

# CODAG Bericht Nr 7
**21.1.2021**

1. Deutschland im Vergleich zu Österreich - zwei vergleichbare Länder und doch ein ganz unterschiedliches Infektionsgeschehen in Bezug auf COVID-19
   *Marc Schneble, Arne Bathke, Göran Kauermann*

2. Wie und wo hat der Teil-Lockdown gewirkt? Eine Analyse zeigt: Der Teil-Lockdown Anfang November hatte keinerlei Effekt in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Die Verschärfung des Teil-Lockdowns Anfang Dezember hatte kaum positiven Effekt.
   *Cornelius Fritz, Göran Kauermann*

3. Aktuelle Analysen zum Verlauf der Pandemie in Bayern: Evidenz für Rückgang der Infektionszahlen seit Dezember
   *Helmut Küchenhoff, Felix Günther, Andreas Bender, Michael Höhle, Daniel Schlichting*

**Weitere Informationen zu unseren Analysen und vorherige Berichte der Corona Data Analysis Group (CoDAG) finden sich auf unserer Homepage**

**https://www.covid19.statistik.uni-muenchen.de/index.html.**

## 1. Deutschland im Vergleich zu Österreich - zwei vergleichbare Länder und doch ein ganz unterschiedliches Infektionsgeschehen in Bezug auf COVID-19

*Marc Schneble, Arne Bathke, Göran Kauermann*

Deutschland und Österreich sind sicher hinreichend unterschiedlich, und doch sollen die beiden Länder in Bezug auf die Bewältigung der COVID-19 Pandemie anhand von Infektionszahlen und Todeszahlen miteinander verglichen werden. Abbildung 1 zeigt die aktuellen Infektionszahlen als Inzidenzen (Infektionen pro 100.000 Einwohner) in Deutschland. Der Teil-Lockdown in KW 45 ist als vertikale gestrichelte Linie dargestellt. Der komplette Lockdown in KW 51 vor Weihnachten als zweite vertikale Linie. Die Zahlen ab KW 52 sind aufgrund der zu Weihnachten geänderten Testanzahlen und der bekannten Meldeproblematik mit Vorsicht zu interpretieren und daher grau schraffiert unterlegt.

**Man erkennt, dass der Teil-Lockdown in Deutschland zwar zu einer leichten Reduktion des Infektionsgeschehens bei den Unter-80-Jährigen geführt hat, aber die Infektionen bei den Über-80-Jährigen praktisch unverändert angestiegen sind. Erst mit dem kompletten Lockdown in KW 51 zeigt sich auch eine Trendwende bei den Über-80-Jährigen.**

Die gleichen Daten für Österreich sind in Abbildung 1.2. gezeigt. Zunächst fällt ein deutlich stärkerer Anstieg der Infektionszahlen im Herbst (KW 42 - KW 45) auf, der allerdings durch den Teil-Lockdown in KW 45 (Beginn 3. November) gebrochen wird. Ähnlich wie in Deutschland verlaufen die Infektionszahlen der Über-80-Jährigen auch nach dem Teil-Lockdown weiter nach oben und erreichen erst mit Einführung des kompletten Lockdowns in KW 47 (17. November) ihren Höhepunkt, um danach abzufallen.

**Das Muster des Infektionsgeschehens in Deutschland und Österreich hat damit gemeinsame Auffälligkeiten. Der Teil-Lockdown zeigte rasche Wirkung bei den Unter-80-Jährigen, aber die Wirkung bei den Über-80-Jährigen trat erst zwei Wochen später ein, möglicherweise als zeitverzögerte Konsequenz des Teil-Lockdowns und jedenfalls dann zeitgleich mit dem kompletten Lockdown. Der Unterschied zwischen Deutschland und Österreich ist dabei, dass zwischen Teil-Lockdown und kompletten Lockdown in Österreich ca. 2 Wochen lagen, in Deutschland hingegen ca. 6 Wochen.**

Abbildung 1.1: Verlauf der COVID-19 Fallzahlen nach Kalenderwoche der Registrierung und Altersgruppe in Deutschland. Die beiden senkrecht gestrichelten Linien stellen den Beginn des Teil-Lockdown in KW 45 (2.11.20) bzw. des Lockdowns in KW 51 (16.12.20) dar. Die Zahlen für die Kalenderwochen 52, 53 und 1 des Jahres 2021 (grau schraffierter Bereich) sind aufgrund verringerter Testaktivität, verzögerten Meldungen und Nachmeldungen nur bedingt interpretierbar.

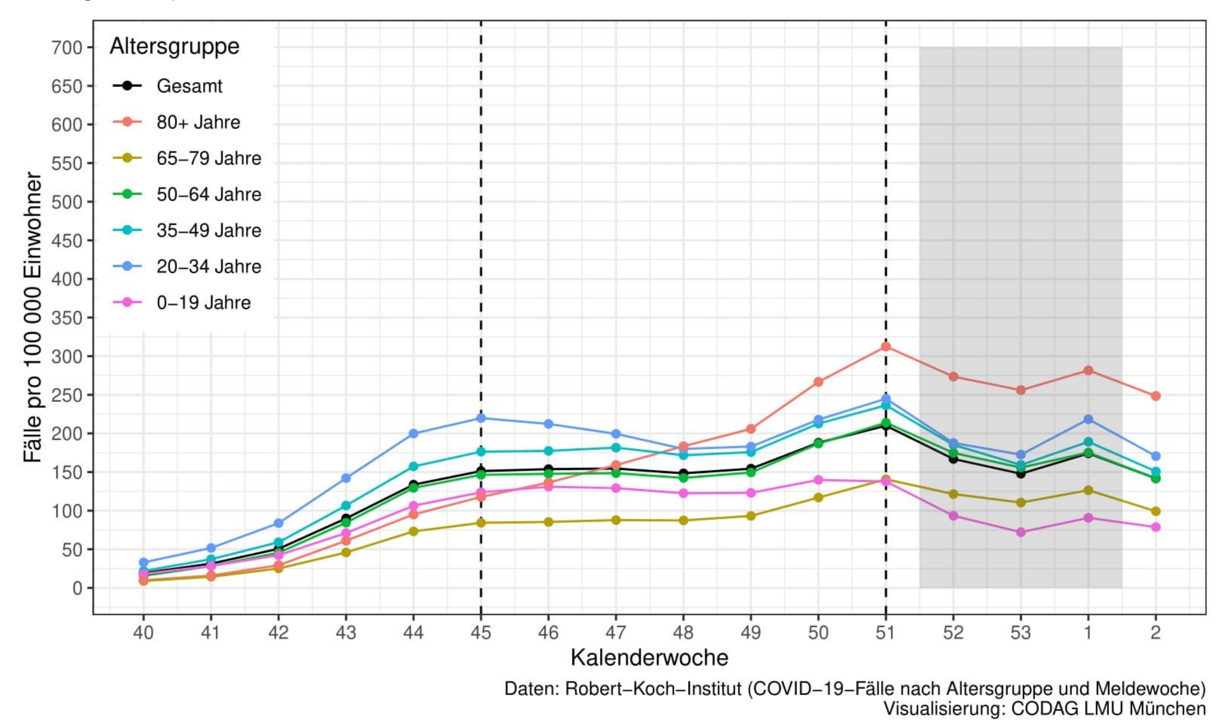
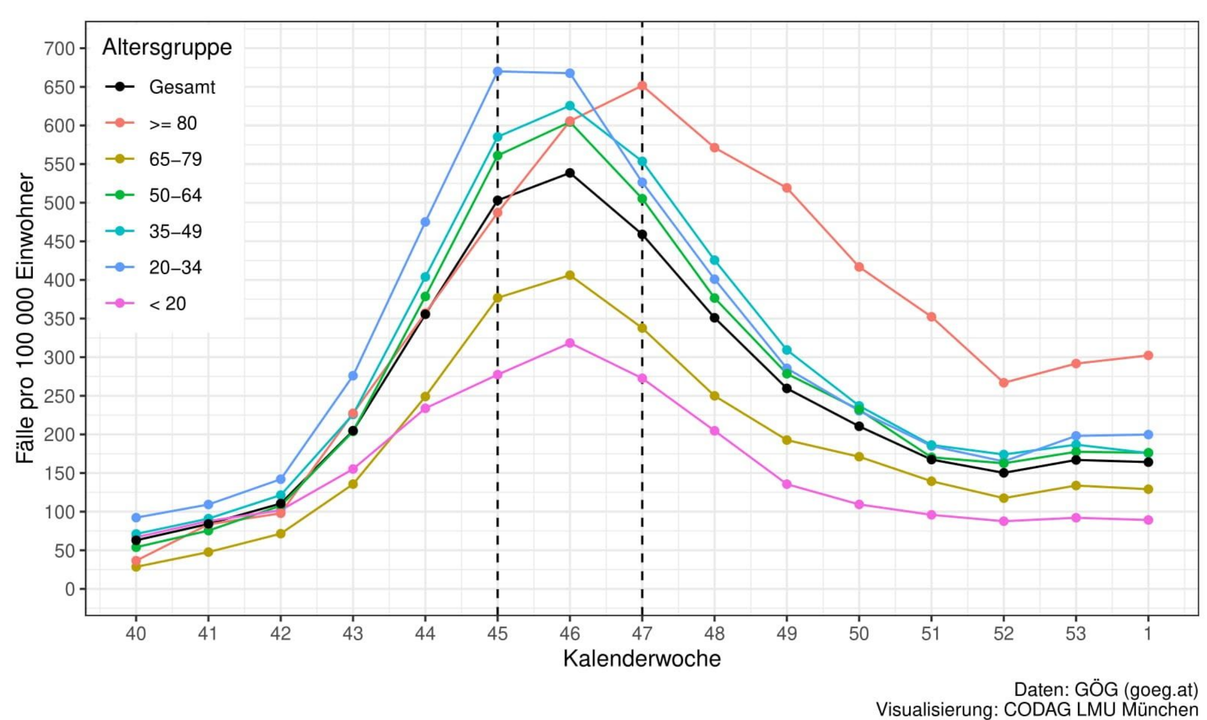
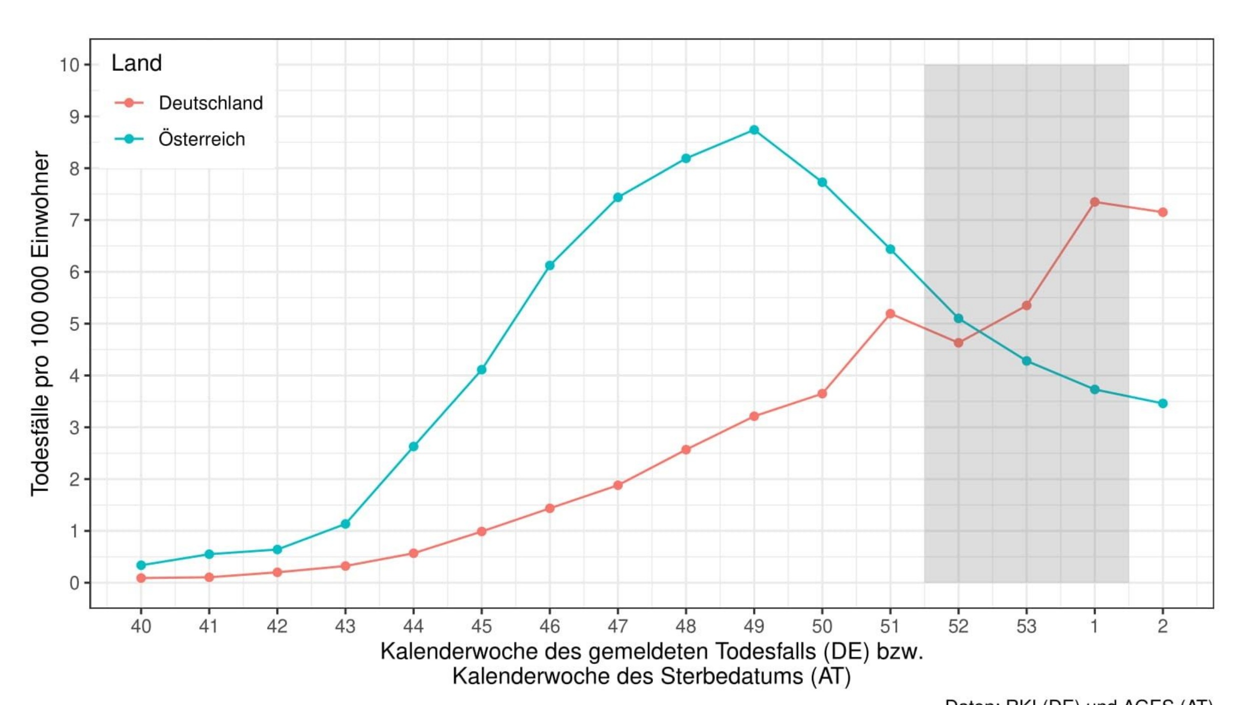



Abbildung 1.2: Verlauf der COVID-19 Fallzahlen nach Kalenderwoche der Registrierung und Altersgruppe in Österreich. Die beiden senkrecht gestrichelten Linien stellen den Beginn des Teil-Lockdowns in KW 45 bzw. des verschärften Lockdowns in KW 47 dar.



Neben den Infektionszahlen soll nun ein Vergleich bei den Todeszahlen herangezogen werden. Abbildung 3 zeigt die wöchentlichen Todeszahlen jeweils normiert auf 100.000 Einwohner in Österreich und Deutschland. Das durch Meldeverzug mit Unsicherheit belastete Zeitfenster um Weihnachten ist wieder grau hinterlegt. Während in Deutschland die Zahlen weiterhin steigen, haben die Todeszahlen in Österreich ihr Maximum in Woche 49 erreicht und sind seitdem fallend. Hier zeigen sich keine Parallelen. Im Gegenteil, **in Österreich zeigte sich in den Todeszahlen ein steiler Anstieg in den Wochen 44 bis 49 und seitdem ein ebenso steiler Abfall. In Deutschland ist der Anstieg deutlich weniger steil, dafür ist noch keine Trendwende ersichtlich und die Todeszahlen in Deutschland scheinen noch nicht ihr Maximum erreicht zu haben**.

Abbildung 1.3: Verlauf der gemeldeten Todesfälle im Zusammenhang mit registrierten COVID-19 Infektionen. Die Zahlen für Deutschland für die Kalenderwochen 52, 53 und 1 des Jahres 2021 (grau schraffierter Bereich) sind aufgrund von Meldeverzug und Nachmeldungen nur bedingt interpretierbar.



2. Wie und wo hat der Teil-Lockdown gewirkt? Eine Analyse zeigt: Der Teil-Lockdown Anfang November hatte keinerlei Effekt in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Die Verschärfung des Teil-Lockdowns Anfang Dezember hatte kaum einen positiven Effekt.
   *Cornelius Fritz, Göran Kauermann*

Wie weit konnte das exponentielle Wachstum anhand des am 2.11[1]. in Kraft getretenen Teil-Lockdown gestoppt werden? Und wie wirkten sich die verschärften Maßnahmen Anfang Dezember aus? Um diese Fragestellung zu untersuchen, analysieren wir die Anzahl der gemeldeten COVID-19 Infektionen jeweils drei Wochen vor und drei Wochen nach den Stichtagen der Maßnahmen. Dabei basieren wir unsere Analysen auf dem Datum der Infektion und nicht auf das Datum des positiven Testergebnis. Das bedeutet insbesondere, dass wir Wirkungen nicht zeitversetzt sondern direkt nachweisen können (siehe Fritz & Kauermann, 2020). Konkret berechnen wir anhand der Anzahl der gemeldeten Neuinfektionen, ob das exponentielle Wachstum nach dem Teil-Lockdown im November bzw. dessen Verschärfung Anfang Dezember gebrochen werden konnte. Die hier gezeigten Analysen geben dabei einen genaueren Einblick in die Wirksamkeit der Maßnahmen und zeigen, wo die Maßnahmen zielführend waren und wo nicht. **Es zeigen sich sehr starke Unterschiede zwischen den Bundesländern. Insbesondere in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen hat keine der Lockdown-Restriktionen eine Trendwende hervorgerufen.** Wir gehen außerdem der Frage nach, wie sich der Effekt des Teil-Lockdowns in den unterschiedliche Altersgruppen zeigt.
Zur Analyse benutzen wir ein statistisches Modell, in dem wir ein exponentielles Wachstum annehmen. Das bedeutet, dass sich die Infektionszahlen zum Zeitpunkt $t$ gemäß der Gleichung $exp(\beta * t)$ entwickeln. Ist der Koeffizient $\beta > 0$, so spiegelt dies ein exponentielles Wachstum wider, ist $\beta < 0$ so zeigt dies eine exponentielle Reduktion der Infektionszahlen. Falls $\beta = 0$ gilt, gehen wir von konstanten Fallzahlen aus. Im Folgenden berechnen wir diesen Parameter $\beta$ zunächst für jedes Bundesland jeweils vor und nach der Einführung des Teil-Lockdowns am 2. November, jeweils mit einem 3 Wochen Zeitfenster. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2.1 gezeigt. Dargestellt ist das exponentielle Wachstum vor dem 2. November (in grau) und die Infektionsdynamik nach Einführung des Teil-Lockdowns. Man sieht, dass in fast allen Bundesländern das exponentielle Wachstum gestoppt werden konnte, dargestellt durch grün markierte negative Parameterwerte $\beta$. **Dies ist nicht der Fall für Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Während in Brandenburg und Sachsen das exponentielle Wachstum sich durch den Teil-Lockdown zumindest leicht verlangsamt hat** (roter $\beta$- Wert unter dem grauen $\beta$-Wert)**, hat es sich in Sachsen-Anhalt und Thüringen nach dem Teil-Lockdown sogar noch verschärft** (roter $\beta$- Wert über dem grauen $\beta$-Wert).

Des Weiteren werden die Infektionen detaillierter betrachtet, indem man das Infektionsgeschehen in unterschiedlichen Altersgruppen untersucht. Dies ist in Abbildung 2.2. dargestellt. Für die Altersgruppen der Unter-80-Jährigen zeigt sich ein ähnliches Bild wie für die Gesamtbevölkerung in Abbildung 2.1. **Das exponentielle Wachstum konnte in den meisten Bundesländern gebrochen werden, allerdings nicht in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Bei den Über-80-Jährigen sieht es anders**

[1] siehe https://de.wikipedia.org/wiki/COVID-19-Pandemie_in_Deutschland

**aus. Hier steigen auch nach dem 2.11. die Infektionszahlen weiterhin exponentiell an, nur Hamburg und Saarland konnten für die hochbetagte Bevölkerung den Anstieg der Infektionszahlen stoppen.**

Abbildung 2.1. Exponentielle Veränderung der Infektionszahlen vor und nach dem 2.11. (Teil-Lockdown). Positive Werte (rot) bedeuten exponentielles Wachstum, negative Werte (grün) bedeuten einen Rückgang der Infektionen.

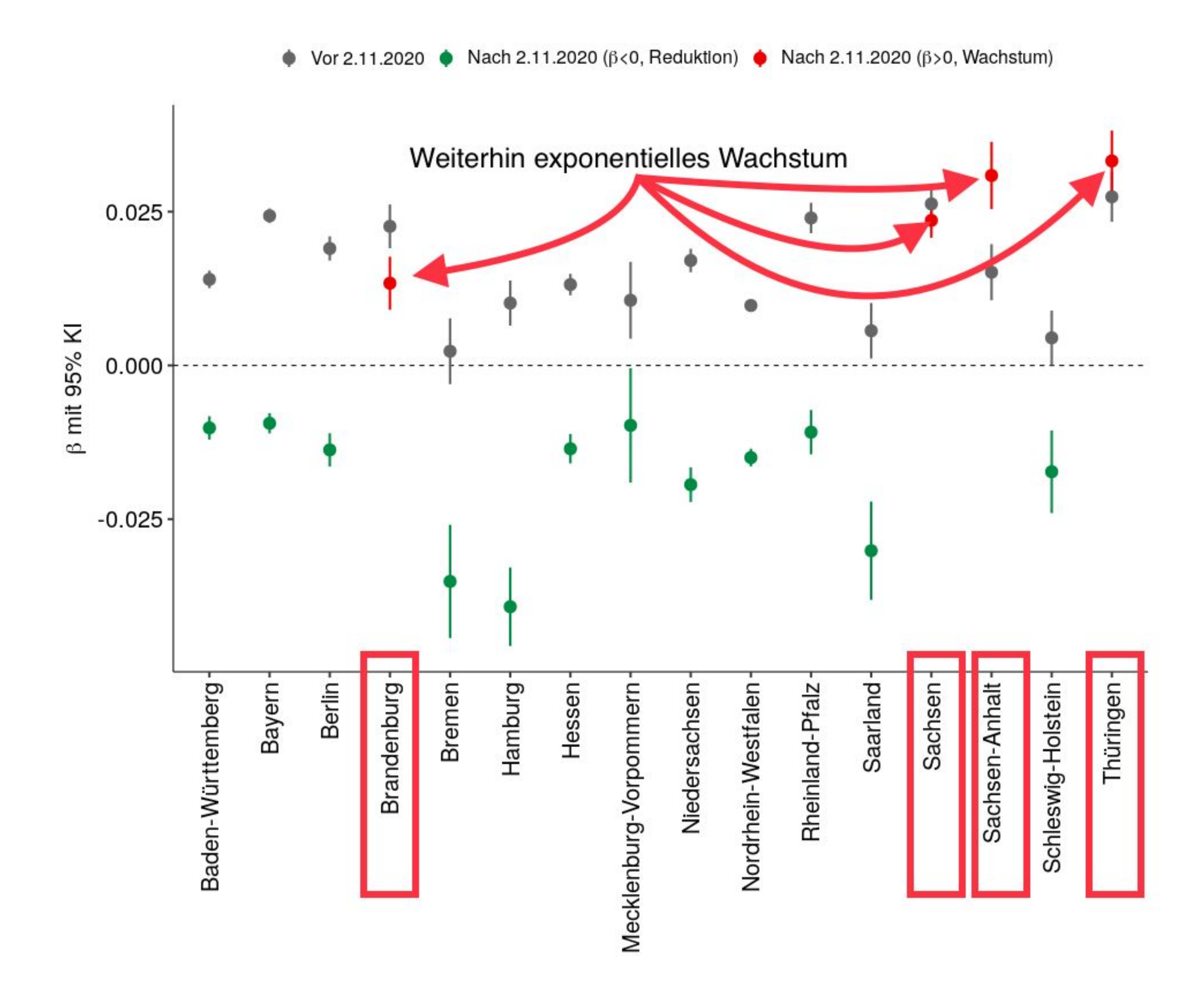
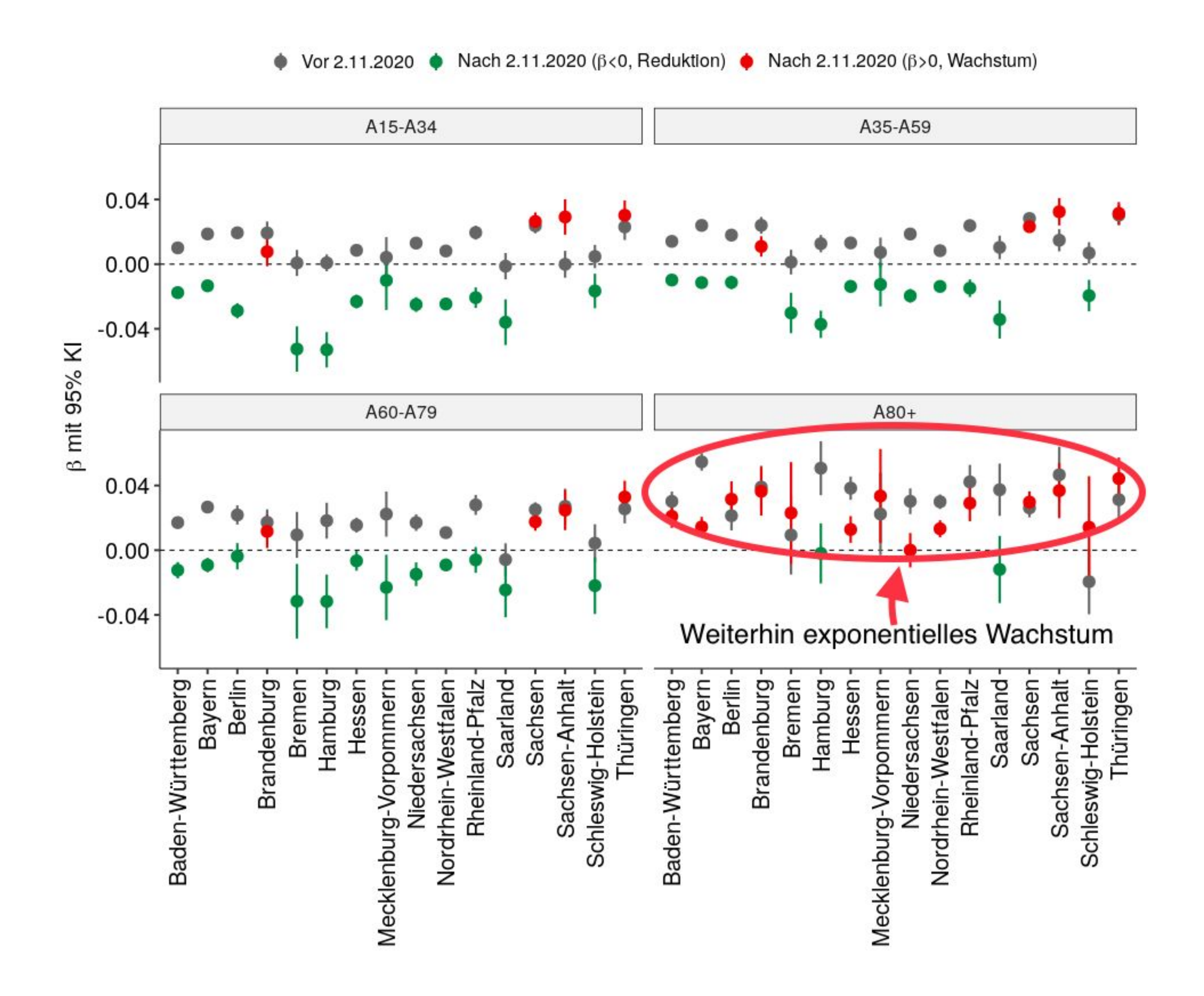


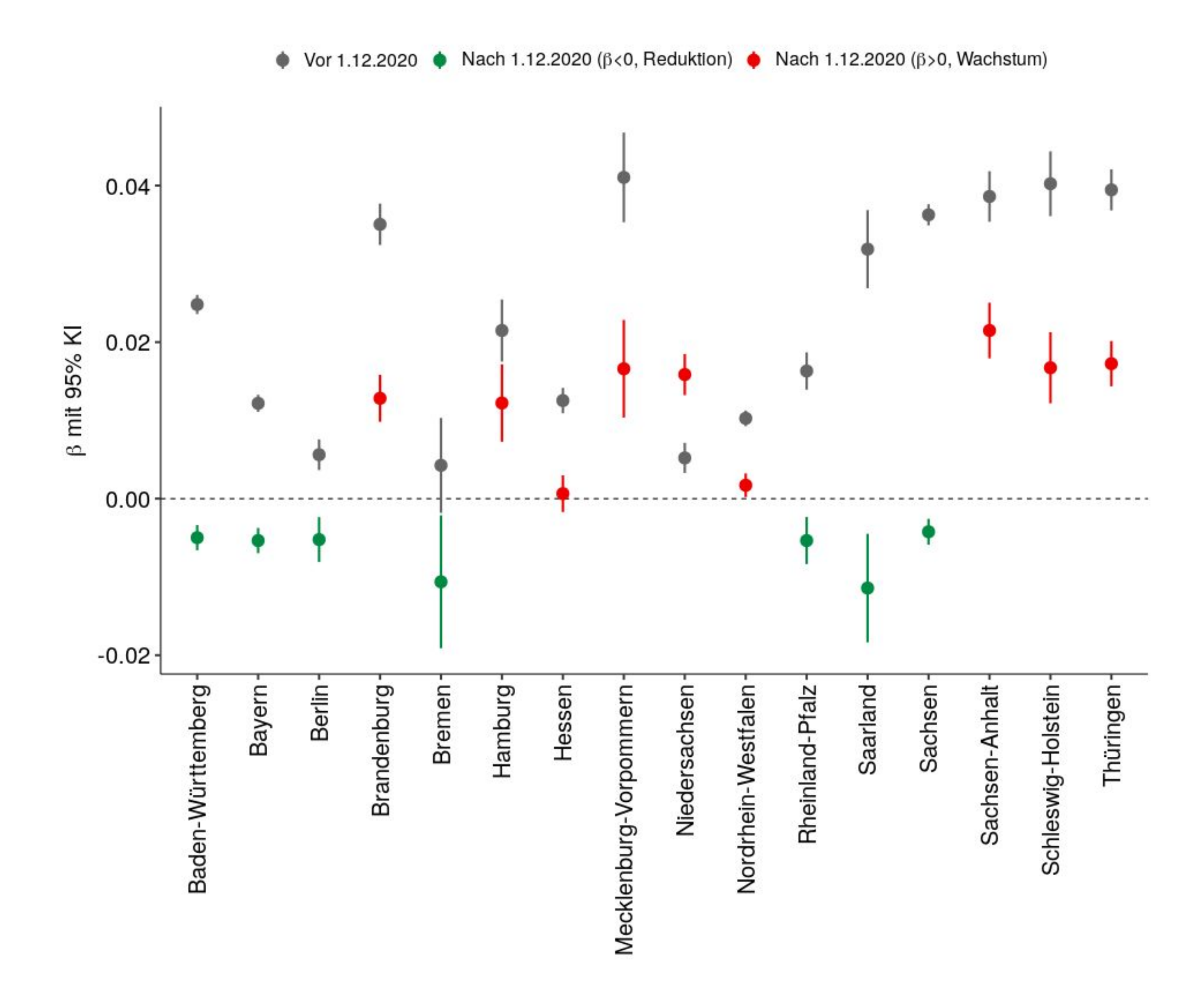
Abbildung 2.2. Exponentielle Veränderung der gemeldeten Infektionszahlen vor und nach dem 2.11. (Teil-Lockdown) aufgeschlüsselt nach Altersgruppen. Positive Werte (rot) bedeuten exponentielles Wachstum, negative Werte (grün) bedeuten einen Rückgang der Infektionen.




Ende November beratschlagen die Bundeskanzlerin und die Ministerpräsidentinnen und Ministerpräsidenten und verlängerten den Teil-Lockdown mit weiteren Verschärfungen mit Wirkung zum 1. Dezember. Die oben gezeigten Analysen können analog für dieses Zeitfenster durchgeführt werden. In Abbildung 2.3. sind die entsprechenden β Parameter jeweils in der Zeit vor dem 1.12. und in der Zeit nach dem 1.12. gezeigt. **Es zeigt sich, dass in Sachsen eine deutliche Reduktion des Infektionsgeschehens erreicht werden konnte, wohingegen die Verschärfung des Teil-Lockdowns im Dezember in Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen keine Trendänderung mit sich brachte, wenngleich das exponentielle Wachstum verlangsamt werden konnte** (roter β Parameter nach 1.12. ist geringer als grauer β Parameter vor dem 1.12.**). Darüber hinaus**

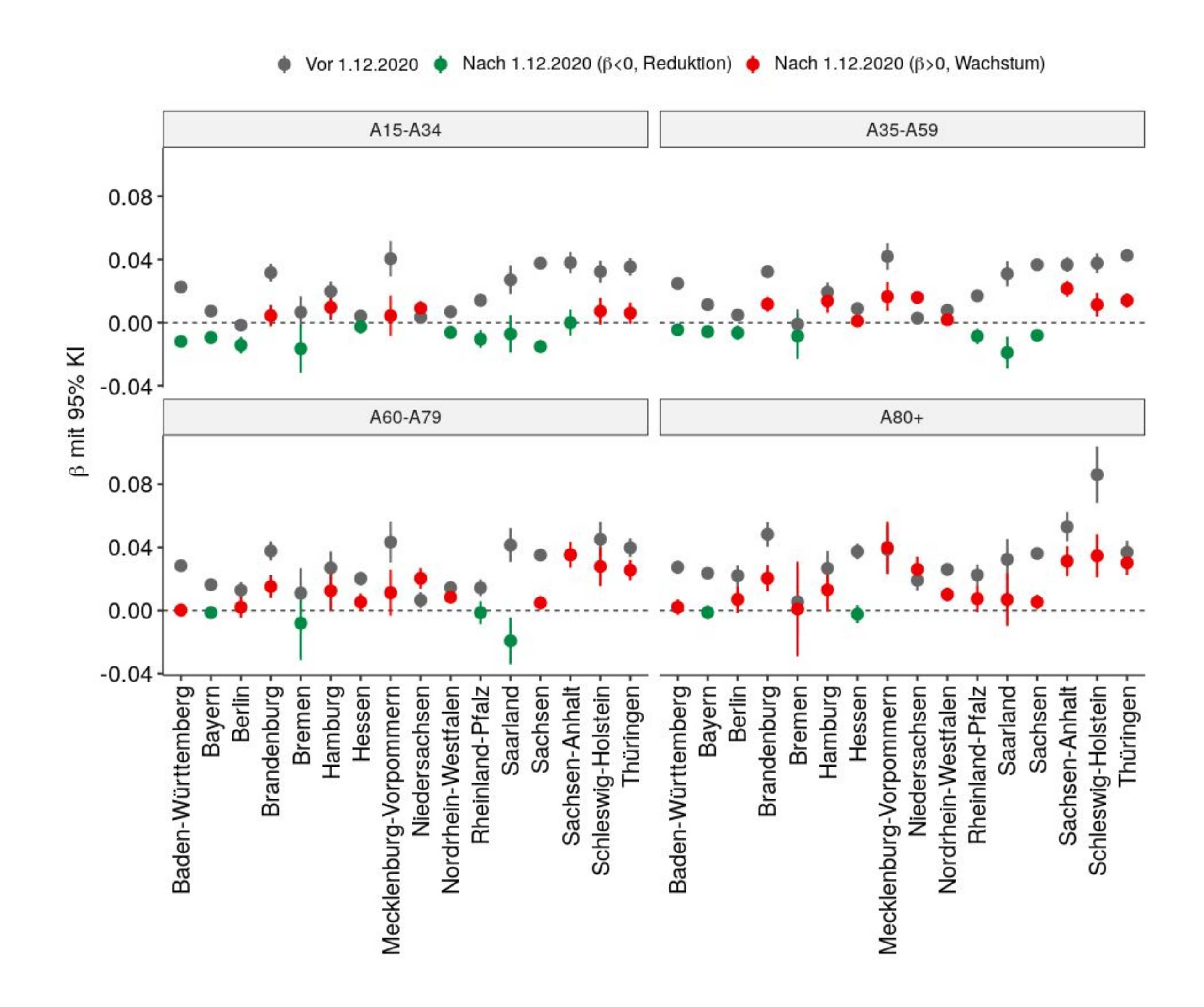
**zeigen Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen auch nach dem 1.12. exponentielles Wachstum.**

Abbildung 2.3. Exponentielle Veränderung der Infektionszahlen vor und nach dem 1.12. (verschärfter Teil-Lockdown). Positive Werte (rot) bedeuten exponentielles Wachstum, negative Werte (grün) bedeuten einen Rückgang der Infektionen.




Auch hier können die Ergebnisse nach Altersgruppen aufgeschlüsselt werden, was in Abbildung 2.4 gezeigt wird. Hier sieht man, dass die Verschärfung des Lockdowns Anfang Dezember generell nur eine geringe Wirkung hatte und in den meisten Fällen ein Absenken der Infektionszahlen nicht erreicht werden konnte. In der Gruppe der 60 bis 79-Jährigen beobachten wirn den meisten Bundesländern auch im Dezember einen Anstieg, gleiches gilt für die Über-80-Jährigen. Einzig in Bayern ist in allen Altersgruppen ein negativer $\beta$-Wert (Reduktion der Infektionen) zu sehen (siehe dazu auch die Analysen in Abschnitt 3) , wenngleich dieser nicht besonders ausgeprägt ist.

Abbildung 2.2. Exponentielle Veränderung der Infektionszahlen vor und nach dem 1.12. (verschärfter Teil-Lockdown), aufgeschlüsselt nach Altersgruppen. Positive Werte (rot) bedeuten exponentielles Wachstum, negative Werte (grün) bedeuten einen Rückgang der Infektionen.




Fazit: **Die Ergebnisse spiegeln wider, dass die Wirkung des Teil-Lockdowns innerhalb von Deutschland komplett unterschiedlich war. Insbesondere die Verschärfung der Maßnahmen Anfang Dezember hatte kaum Wirkung, die Infektionen nahmen zum Teil zu. Die Forderung nach bundeseinheitlichen Maßnahmen ist aufgrund der komplett unterschiedlichen Wirkungen und zum Teil auch Umsetzung dieser Maßnahmen in den einzelnen Bundesländern daher kritisch zu hinterfragen.**

Methodik:

*In dieser Analyse verwenden wir die Daten der Registrierung und des Krankheitsbeginns, die vom Robert-Koch-Institut herausgegeben werden. Eine adäquate Quantifizierung des Effekts der Maßnahmen auf die Infektionszahlen benötigt jedoch das Infektionsdatum, das zwar nicht direkt festgestellt werden kann, sich jedoch aus der Subtraktion der Inkubationszeit von dem Datum des*

*Krankheitsbeginns berechnen lässt. Aus der Literatur ist die Verteilung dieser Inkubationszeiten wiederum bekannt und kann in einem statistischen Modell zur Beschreibung der Infektionszahlen berücksichtigt werden. Diese Art von Modell wird "Backprojection" genannt, da wir das Datum des Krankheitsbeginns mittels der Inkubationsverteilung auf das Infektionsdatum zurück projezieren (siehe Becker 1991). Insgesamt werden für die Schätzung dieses Modells somit die Daten des jeweiligen Krankheitsbeginns und die Verteilung der Inkubationszeiten benötigt. Aufgrund der heterogenen Datenlage fehlen aber bei etwa 25% der COVID Erkrankungen Informationen zum genauen Krankheitsbeginn. Um in dem Modell trotzdem alle Beobachtungen berücksichtigen zu können, imputieren wir zuerst die Daten der fehlenden Krankheitsbeginn, um diese anschließend mit dem exponentiellen Wachstum der Infektionszahlen in Bezug zu setzen. Um bei der Schätzung der Unsicherheit der Imputation Rechnung tragen zu können, wiederholen wir das Verfahren 20 Mal. Die genauere Methodik der Imputation wird in Fritz und Kauermann (2020) erläutert.*

## Literatur

Becker N., Watson L. und Carlin J. (1991), *A method for non-parametric back-projection and its application to AIDS data*, Statistics in Medicine

Fritz C. und Kauermann G. (2020): *On the Interplay of Regional Mobility, Social Connectedness, and the Spread of COVID-19 in Germany,* (arXiv, under review)

## 3. Aktuelle Analysen zum Verlauf der Pandemie in Bayern: Evidenz für Rückgang der Infektionszahlen seit Dezember

*Helmut Küchenhoff, Felix Günther, Andreas Bender, Michael Höhle, Daniel Schlichting*

Die aktuellen täglichen Meldezahlen bilden das Infektionsgeschehen der Vergangenheit ab. Im Folgenden stellen wir den Verlauf der Pandemie auf der zeitlichen Ebene der Neuinfektionen (tatsächliches Infektionsgeschehen) analog zu den Analysen im CODAG-Bericht Nr. 5 dar. Das Vorgehen ist wie folgt: Zunächst wird aus den Meldezahlen mit Hilfe eines statistischen Modells die Anzahl an Fällen mit Krankheitsbeginn pro Tag geschätzt (siehe dazu Günther et al., 2020). Anschließend wird unter Berücksichtigung der Inkubationszeit eine Rückrechnung auf den Infektionszeitpunkt durchgeführt. Die Methodik ist in Küchenhoff et al. (2020) beschrieben. Auf der zeitlichen Ebene der täglichen Neuinfektionen werden Regressionsmodelle mit Bruchpunkten geschätzt, zwischen denen eine lineare Entwicklung der logarithmierten Infektionszahlen (das bedeutet eine stückweise konstante Verdopplungszeit) angenommen wird.

Die Interpretation der vorhandenen Meldezahlen und daraus abgeleiteter Größen ist ab Mitte Dezember und über den Jahreswechsel aufgrund von Veränderungen in der Testaktivität vor und über die Weihnachtsfeiertagen sowie den Jahreswechsel hinweg erschwert und muss mit Bedacht geschehen. Melderückstände von durchgeführten Tests sollten inzwischen jedoch wieder aufgeholt sein. Die hier dargestellte Analyse der bayerischen Infektionszahlen basiert auf der Betrachtung von Daten zu gemeldeten Krankheitsbeginnen, die nicht direkt von verzögerten Meldungen betroffen sind. Durch eine flexible Imputation fehlender Daten zum Krankheitsbeginn können wir Veränderungen im Meldeverzug über die Zeit in der Analyse berücksichtigen. Dies können wir allerdings nur für die Bayerischen Meldezahlen durchführen, für die wir täglich die aktuellen personenspezifischen Fallinformationen und eine hinreichende Menge an Informationen zu Krankheitsbeginnen vorliegen haben. Weiter wurde in Abschnitt 2 deutlich, dass es große Unterschiede zwischen den Bundesländern gibt, was eine Betrachtung der Daten für Deutschland insgesamt problematisch macht. Daher beschränken wir unsere Analysen auf Bayern.

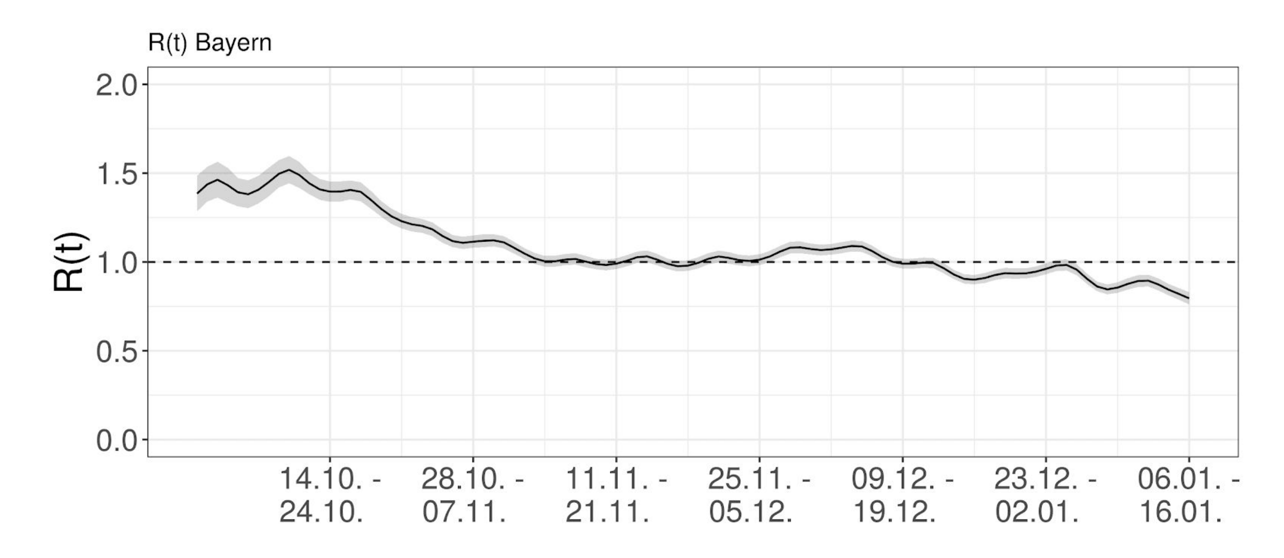
Abbildung 3.1.: Geschätzter Verlauf der Infektionszahlen in Bayern seit Oktober 2020.

Statistisches Beratungslabor StaBLab, LMU München; Department of Mathematics, Stockholm University
Daten: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit LGL

Abbildung 3.1 zeigt den geschätzten Verlauf der Infektionszahlen seit Oktober 2020 basierend auf den Meldezahlen. Die Infektionszahlen stiegen von Oktober bis Anfang November stark an und verliefen im November auf relativ konstantem Niveau. Von Ende November (~23.11.) bis Anfang Dezember (~03.12.) erfolgte ein erneuter Anstieg der täglichen Infektionszahlen. Über den Dezember hinweg erfolgte dann ein Rückgang der Neuinfektionen in Bayern, der sich ungefähr ab dem 23.12 noch einmal etwas verstärkt. Aktuell können wir die Anzahl an täglichen Neuinfektionen bis zum 06.01. schätzen und schätzen daraus im aktuellen Zeitraum einen täglichen Rückgang der erwarteten Neuinfektionen um den Faktor 0.97. Dies entspricht eine Halbierung der täglichen Infektionszahlen innerhalb von ungefähr 3 Wochen.

Abbildung 3.2. zeigt die geschätzte Reproduktionszahl R(t), ein alternative Maß für das Infektionsgeschehen, im Zeitverlauf. Für einen gewissen Tag t entspricht das geschätzte R(t) der mittleren Anzahl von Personen die durch eine an diesem Tag neu infizierte Person in den folgenden Tagen angesteckt werden. Ein R(t) größer eins entspricht steigenden Infektionszahlen, ein R(t) kleiner eins sinkenden Infektionszahlen. Der Verlauf der geschätzten Kennzahl stimmt mit den Ergebnissen der Bruchpunktregression inhaltlich überein.

Abbildung 4.2. Geschätzte zeit-variierende Reproduktionszahl R(t) in Bayern.




Bei der Analyse der Infektionszahlen können wir für Veränderungen in der Meldeverzögerung adjustieren, eine Veränderung der Dunkelziffer über die Zeit kann die Ergebnisse allerdings verzerren. Wir betrachten daher zur Einordnung der Ergebnisse zusätzlich die Anzahl der durchgeführten und gemeldeten PCR-Tests bayerischer Labore und den Anteil positiver Tests, sowie die Anzahl der belegten Intensivbetten in Bayern basierend auf Angaben aus dem DIVI Register (Abbildung 3.3 und 3.4).

Abbildung 4.3. Wöchentliche Anzahl gemeldeter PCR-Tests der bayerischen Labore, sowie zugehöriger Anteil positiver Tests.

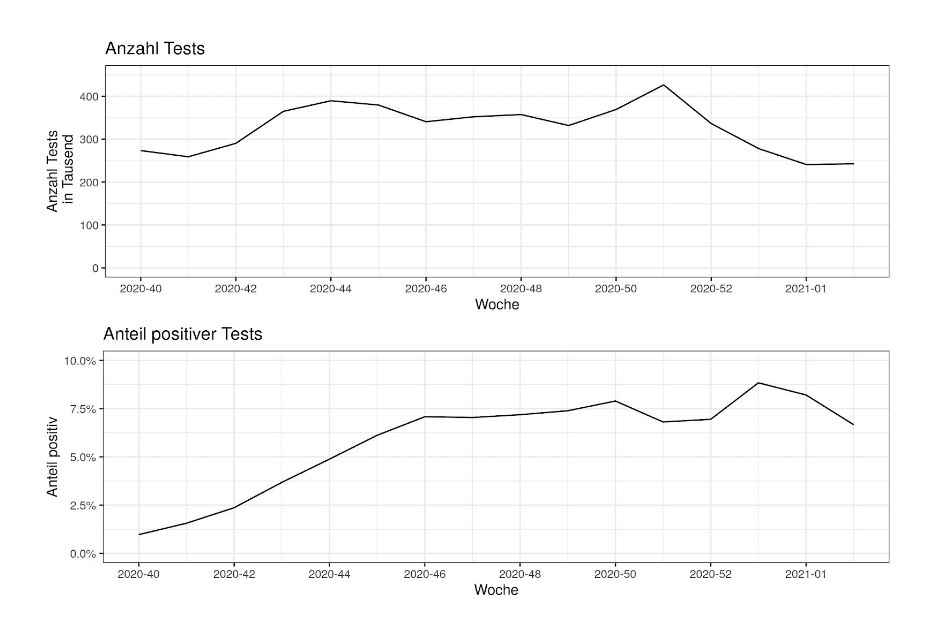
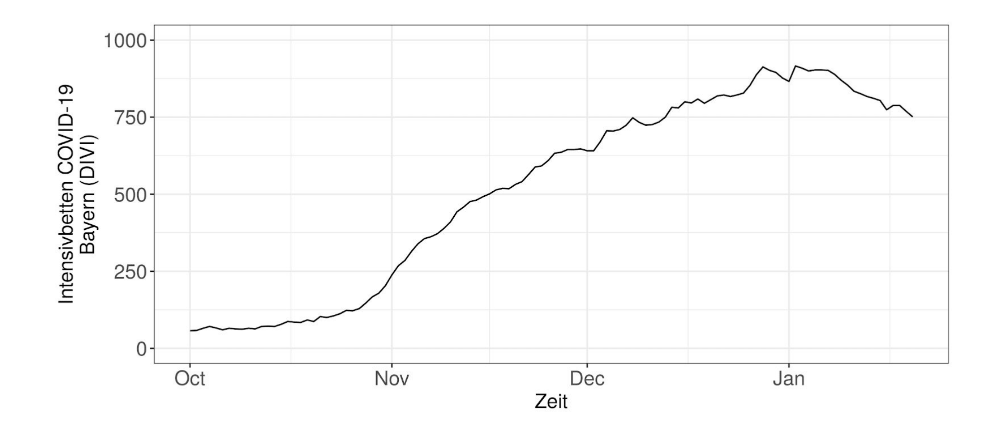



Abbildung 3.4.: Anzahl mit COVID-19 Patienten belegter Intensivbetten in Bayern basierend auf DIVI-Daten.




Bei der Betrachtung der Anzahl an durchgeführten PCR-Tests fällt nach einem Peak der Testzahlen kurz vor Weihnachten ein klarer Rückgang der durchgeführten Tests pro Woche auf. Die Anzahl der durchgeführten Tests ist auch in den ersten zwei Wochen von 2021 weiterhin auf vergleichsweise niedrigem Niveau. Es kann dabei jedoch noch zu Nachmeldungen kommen von denen positive Testergebnisse potentiell bereits bei den Gesundheitsämter gemeldet sind. Diese Entwicklung könnte aber auch auf eine aktuell erhöhte Dunkelziffer hindeuten. Bei Betrachtung des Anteils positiver Tests fällt jedoch ein Rückgang in den letzten Wochen auf. Diese Entwicklung passt zu einem Rückgang der Infektionszahlen. Die Anzahl der durch COVID-19 Patienten belegten Intensivbetten ist in Bayern ebenfalls seit dem Jahreswechsel leicht rückläufig. Aufgrund der zeitlichen Verzögerung zwischen Infektion und notwendiger Behandlung auf der Intensivstation bei schwerem Verlauf würde dies ebenfalls zu einem Rückgang des Infektionsgeschehens ab Anfang/Mitte Dezember passen.

**Insgesamt lassen sich bei detaillierter Betrachtung der offiziellen bayerischen COVID-19 Melde- und Surveillance-Daten Hinweise auf einen Rückgang des Infektionsgeschehens seit Dezember feststellen, der weiterhin anhält. Eine genaue Einschätzung der aktuellen Lage und zeitlichen Entwicklung ist aufgrund der besonderen Situation über Weihnachten und den Jahreswechsel weiterhin schwierig. Es gibt aktuell keine Hinweise auf eine Veränderung der Tendenz oder einen erneuten Anstieg des Infektionsgeschehens.**

**Literatur**

F. Günther, A. Bender, K. Katz, H. Küchenhoff, and M. Höhle. *Nowcasting the COVID-19 pandemic in Bavaria.* Biometrical Journal, 2020. https://doi.org/10.1002/bimj.202000112.

H. Küchenhoff, F. Günther, M. Höhle, and A. Bender. *Analysis of the early COVID-19 epidemic curve in Germany by regression models with change points.* medRxiv, 2020. https://doi.org/10.1101/2020.10.29.20222265